

## 研究ノート

# 高所トレッキングにおける安静時と 深呼吸時の動脈血酸素飽和度の変動

平 松 携  
岩 井 一 師

## 1 目 的

日本において1990年代から中・高年者の登山者が増加してきた。里山歩きや低山の登山、さらに低山から3,000 m級の夏山登山へと繋がり、機会があれば海外の山に挑戦する人も珍しくなってきた。海外では5,000 m級のヒマラヤに人気が高い。それは比較的たやすくエベレストが眺望できるカラ・パタールやゴーキョ・ピークがトレッキングが可能だからである。

筆者はこれまで、中華人民共和国チベット自治区やネパール王国クーンブ山群の標高5,000 mの高所における生体反応の調査をしてきた。主な調査は1日間の活動時・睡眠時・歩行時・台の昇降時の心拍数<sup>1),2)</sup>であった。また高所における頭痛の症状、排便・排尿の回数、血圧変動等の研究も行った<sup>3)</sup>。さらに高所トレッキングにおける標高5,000 mの動脈血酸素飽和度(以下 SpO<sub>2</sub>)は74%まで低下していることも報告した<sup>4)</sup>。これまでの高所における SpO<sub>2</sub> の先行研究をみると、ムスターグ・アタ(標高7,546 m)登山の SpO<sub>2</sub> は、ベースキャンプ(以下 BC, 標高4,350 m)、キャンプ1(以下 C1, 標高5,350 m)からキャンプ2(以下 C2, 標高5,900 m)へ、C2からキャンプ3(以下 C3, 標高6,500 m)へも標高が上がるとともに有意に SpO<sub>2</sub> は低下している。C3の SpO<sub>2</sub> は61.9%であったと報告している<sup>5)</sup>。なお、山本<sup>6)</sup>は、自らのチョーオユー登山な

ど低酸素環境下の体験から豊富な  $SpO_2$  等のデータを提供している。高所において岡崎ら<sup>7)</sup>は、50歳以上における人の血中酸素飽和度（以下  $SaO_2$ ）と、50歳以下の人に比べほとんどの高度で有意に低いと報告している。高所におけるエベレスト街道（カラ・パタール）の  $SpO_2$  の測定報告では、内海<sup>8)</sup>はパルスオキシメータで測定結果を報告している。また太田<sup>9)</sup>は  $SaO_2$  を測定しているが両者とも考察まで踏み込んでいない。

ここでは、高所トレッキングの日数が経過すると標高も上がることから、高所トレッキングと  $SpO_2$  との関係、高所トレッキングにおける安静時  $SpO_2$  と深呼吸時  $SpO_2$  との比較、平地に定住する日本人と高所に住むネパール人との  $SpO_2$  について、高所中・高年者のトレッキング中の基礎的な資料を得ることを目的とする。

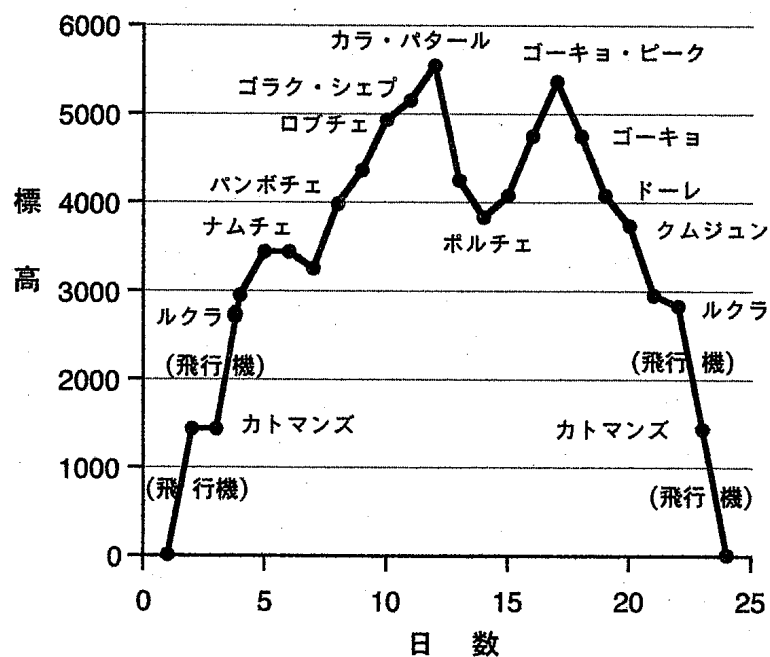
## 2 方 法

### (1) トレッキング場所、経路と標高

#### ①トレッキング場所と経路

トレッキング場所は、ネパール東部クーンブ山群で、カラ・パタール、ゴー

図1 トレッキング日数と標高



キョ・ピークの行程である。具体的なトレッキング経路は、カトマンズ（飛行機）→ルクラ→ナムチェ・バザール→パンボチェ→ロブチェ→カラ・パタール→ポルチェ→ドーレ→ゴーキョー・ピーク→ドーレ→クムジュン→ルクラ（飛行機）→カトマンズであった。

## ②トレッキングの標高

クーンブ山群のトレッキングの標高は図1のとおりである。世界最高峰のエベレストが眺望できるカラ・パタール（標高5,545 m）、およびゴーキョ・ピーク（標高5,483 m）では5,000 mを越えた。

## (2) 被験者の特徴

被験者は、日本人3名、ネパール人3名で表1のとおりであった。被験者Aは、青年期は登山や山スキーの経験があり高年齢になってチベットやネパール、ロシアの高所トレッキングを6回経験している。被験者Bは、青年期は競技スポーツの経験があり、中年になって登山を始め高所トレッキングを3回経験している。被験者Cは、青年期は登山や山スキーの経験があり、中年齢になってチベットやネパールの高所トレッキングを5回経験している。被験者Dは、ネパールの高所に在住し、山岳ガイドを勤めている。被験者Eは、通訳兼山岳ガイド役でチョーオユーに登頂した経験がある。山岳ガイドのない日はカ

表1 被験者の特性

被験者	年齢	性	国	居住地の標高(m)	備 考
A	67	男	日本人	10	登山経験(5,000 m), 高所経験6回
B	56	男	日本人	10	登山経験(5,000 m), 高所経験3回
C	63	男	日本人	10	登山経験(5,000 m), 高所経験5回
D	41	男	ネパール人	4,080	登山ガイド, シェルパ族
E	34	男	ネパール人	1,440	通訳(チョーオユー登頂者), シェルパ族
F	23	男	ネパール人	4,080	ポーター, ライ族

被験者Eの居住地は、青年期まで高所に住していた。今日、登山ガイド・通訳のない時はカトマンズ（標高1,440 m）で生活している。

トマンスに住んでいる。被験者Fは、ポーターでネパールの標高4,000 m 高所に住んでいる。

### (3) SpO<sub>2</sub> の測定方法

SpO<sub>2</sub> 測定は、パルスオキシメータ（ノニン社製，オノックス Moderu 9500）によって実施した。SpO<sub>2</sub> 測定は，毎日，起床後の服装を整えたりした後に座位にて，精神的にも比較的安定した時（以下安静時）に実施した。また，深呼吸時の SpO<sub>2</sub> 測定は，1日のトレッキングが終わってロッジに到着した後，肉体的に疲労がありながらも精神的に落ち着いた夕食前に安静時の SpO<sub>2</sub> 測定，引き続き10回の深呼吸後に SpO<sub>2</sub> 測定，深呼吸3分後に SpO<sub>2</sub> 測定を実施した。

### (4) 測定場所，標高，気象状況

低酸素環境下における朝の気象状況は，測定場所，測定時刻，標高，気圧，室内気温，室内湿度をみたものが表2であった。

表2 低酸素環境下の朝の気象状況

日程	測定場所	測定時刻	標高(m)	気圧(hPa)	室内気温(℃)	室内湿度(%)
1	日本	11時05分	10	—	—	—
2	カトマンス	7時00分	1,440	868	22	58
3	カトマンス	5時30分	1,440	864	22	62
4	チュモア	6時00分	2,750	728	9	80
5	ナムチェ・バザール	6時20分	3,446	676	12.5	60
6	ナムチェ・バザール	6時20分	3,446	675	12.5	58
7	プンギ・テンガ	6時40分	3,250	681	9	72
8	パンボチェ	6時40分	3,990	631	3	75
9	ディンボチェ	6時40分	4,343	603	0	78
10	ロブチェ	7時40分	4,930	559	4	61
11	ゴラク・シェブ	4時50分	5,288	544	6	57
12	ペルチェ	8時30分	4,243	609	5	58
13	ポルチェ	7時00分	3,850	645	6	68
14	ドーレ	7時00分	4,328	625	5	76
15	ゴーキョ	5時01分	4,750	577	0	70
16	ゴーキョ	7時00分	4,750	577	1	68
17	ドーレ	7時00分	4,328	630	3	65
18	クムジュン	7時00分	3,739	653	6	66
19	パクディン	7時00分	2,650	725	15	70
20	ルクラ	6時00分	2,827	—	10	60
21	カトマンス	7時00分	1,440	870	24	64
22	日本	—	10	—	—	—

## (5) 健康診断

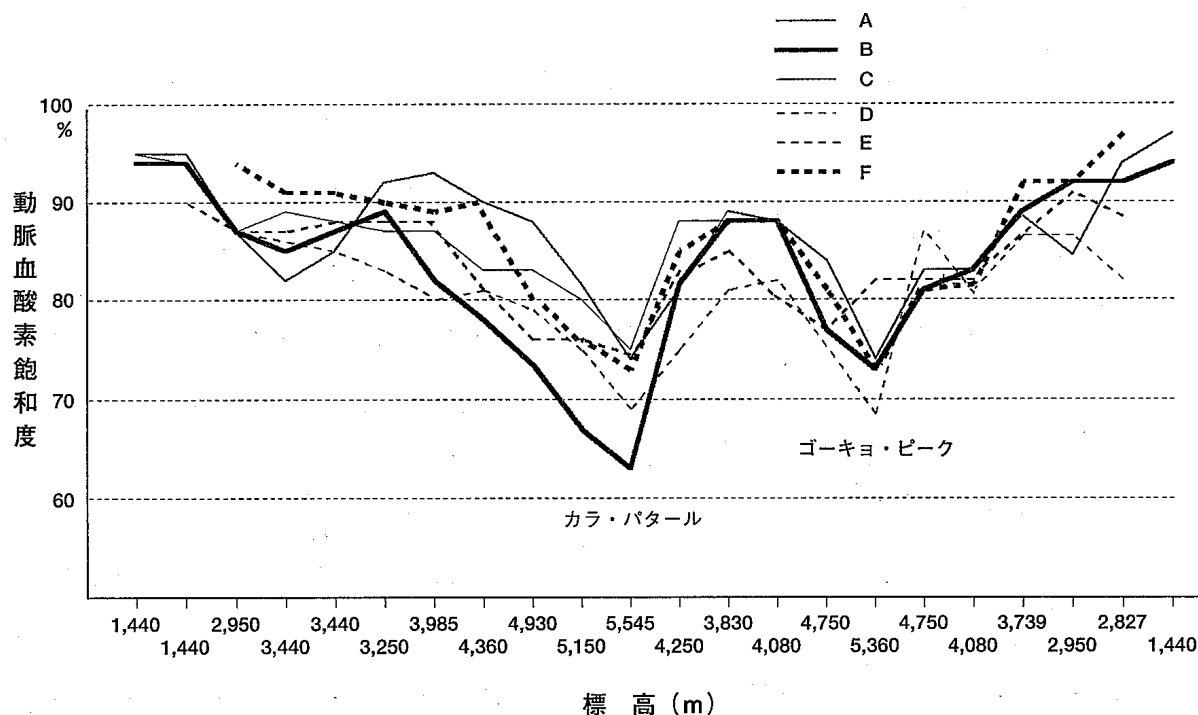
日本人の被験者A, 被験者B, 被験者Cは, トレッキング前(出国前)に各自が健康診査を受け, トレッキングに支障のないと診断された。なお, ネパールの健康診断は不明であった。

## 3 結 果

## (1) 標高と動脈酸素飽和度

標高と  $SpO_2$  をみたものが図2である。標高 3,440 m のナムチェ・バザールにおける  $SpO_2$  をみると, 被験者Aは 85%, 被験者Bは 87%, 被験者Cは 88%, 被験者Dは 85%, 被験者Eは 88%, 被験者Fは 91%であった。標高 4,360 m のデインボチェにおける  $SpO_2$  をみると, 被験者Aは 90%, 被験者Bは 78%, 被験者Cは 83%, 被験者Dは 81%, 被験者Eは 81%, 被験者Fは 90%であった。標高 5,545 m のカラ・パタールにおける  $SpO_2$  をみると, 被験者Aは 74%, 被験者Bは 63%, 被験者Cは 75%, 被験者Dは 69%, 被験者Eは 74%, 被験

図2 標高と動脈血酸素飽和度



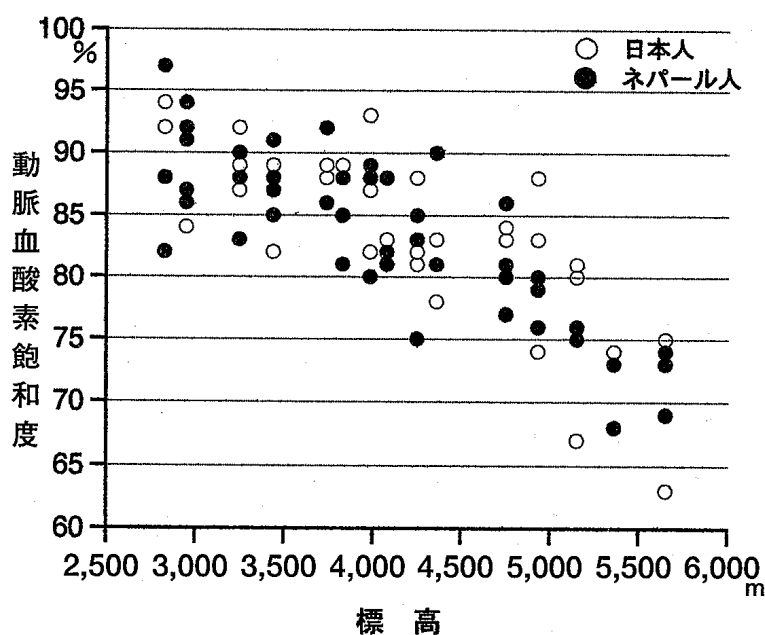
者Fは73%であった。また、標高5,483 mのゴーキョ・ピークにおける  $SpO_2$  をみると、被験者Aは74%、被験者Bは73%、被験者Dは68%、被験者Fは73%であった。

このように標高5,000 mの高所を越える低酸素環境では、平地の6割台から7割台の  $SpO_2$  で標高が高くなるにつれ  $SpO_2$  は低値を示した。

## (2) 日本人とネパール人の $SpO_2$

図3は、標高と  $SpO_2$  関係をみたもので、日本人は○、ネパール人は●でプロットした。 $SpO_2$  が60%台を示したのは、日本人の被験者B（標高5,000 m台の63%、67%）、およびネパール人の被験者D（標高5,000 m台の68%、69%）の2人であった。

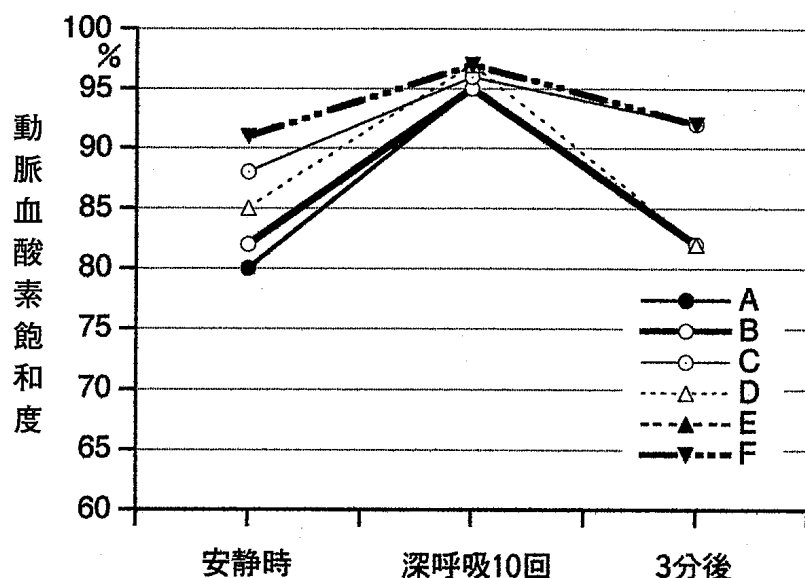
図3 標高と動脈血酸素飽和度



## (3) 深呼吸時の $SpO_2$

図4は、標高3,440 mのナムチェ・バザールにおける安静時、深呼吸10回後及び3分後の  $SpO_2$  をみたものである。被験者Aは、安静時80%、深呼吸10回後95%及び3分後82%であった。被験者Bは、安静時82%、深呼吸10

図4 安静時と深呼吸時との動脈血酸素飽和度 (3,440 m)



回復 95% 及び 3 分後 82% であった。被験者 C は、安静時 88%、深呼吸 10 回後 96% 及び 3 分後 92% であった。被験者 D は、安静時 85%、深呼吸 10 回後 97% 及び 3 分後 82% であった。被験者 E は、安静時 88%、深呼吸 10 回後 94% 及び 3 分後 83% であった。被験者 F は、安静時 91%、深呼吸 10 回後 97% 及び 3 分後 92% であった。

図 5 は、標高 5,288 m のゴラク・シェプにおける安静時、深呼吸 10 回後及び 3 分後の  $SpO_2$  をみたものである。被験者 A は、安静時 74%、深呼吸 10 回後 80% 及び 3 分後 72% であった。被験者 B は、安静時 73%、深呼吸 10 回後 82% 及び 3 分後 72% であった。被験者 C は、安静時 80%、深呼吸 10 回後 87% 及び 3 分後 80% であった。被験者 D は、安静時 68%、深呼吸 10 回後 89% 及び 3 分後 64% であった。被験者 E は、安静時 76%、深呼吸 10 回後 93% 及び 3 分後 75% であった。安静時と深呼吸時との  $SpO_2$  の差は、被験者 A は 6%、被験者 B は 7%、被験者 D は 21%、被験者 E は 17% であり、高所に住む被験者 D、被験者 E のネパール人の差が大きかった。

図 6 は、標高における安静時  $SpO_2$  と深呼吸時  $SpO_2$  の差をみたものである。標高 3,440 m における  $SpO_2$  差は、日本人の安静時と深呼吸時との  $SpO_2$  の差

は12%, ネパール人の差は9%となっており, その差は3%で少なかった。標高4,360 mでは  $SpO_2$  の差は, 日本人9%, ネパール人の差は8.3%で, その差は0.7%に過ぎなかった。ところが標高5,150 mになると  $SpO_2$  の差は, 日本人7.3%に対しネパール人の差は19%で, 日本人とネパール人との  $SpO_2$  の差は11.7%あった。

図5 安静時と深呼吸時との動脈血酸素飽和度 (5,150 m)

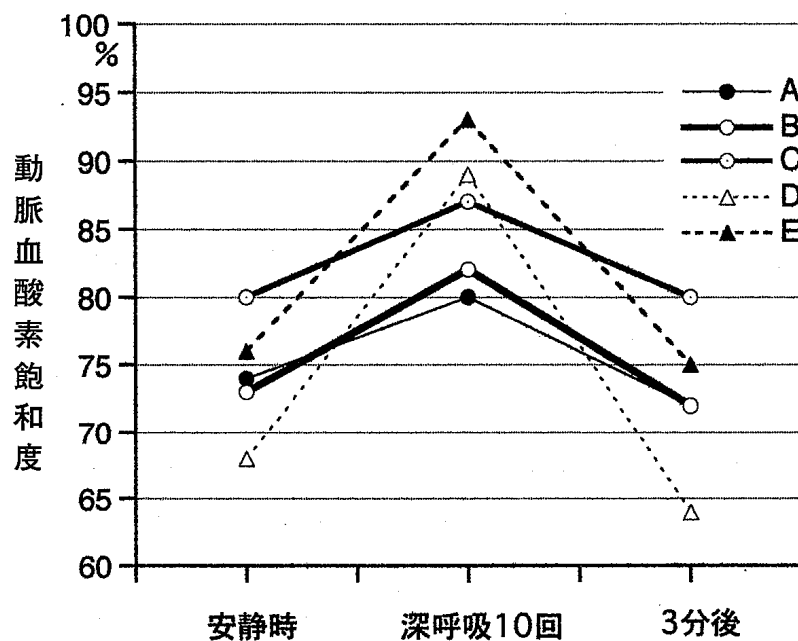
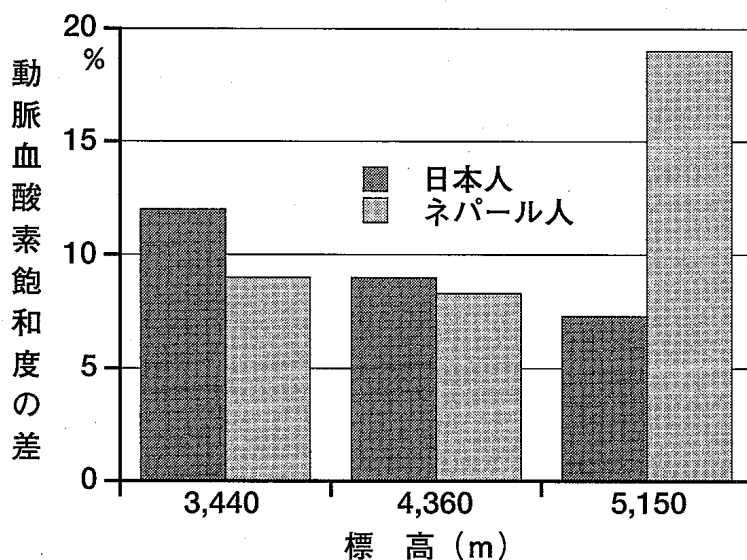


図6 安静時と深呼吸時との動脈血酸素飽和度の差





## 4 考 察

パルスオキシメーターによる  $\text{SpO}_2$  は、動脈血液中の赤血球内ヘモグロビンの何%が酸素と結びついているか（動脈血酸素飽和度）を、非侵襲的に測定する装置である<sup>5)</sup>。

標高と  $\text{SpO}_2$  との関係では、被験者Aをみると標高 1,440 m で 95%、標高 3,440 m で 80%、標高 4,360 m で 80%、標高 5,545 m で 74%であった。被験者Bをみると標高 1,440 m で 95%、標高 3,440 m で 82%、標高 4,360 m で 78%、標高 5,545 m で 63%であった。被験者Cをみると標高 1,440 m で 95%、標高 3,440 m で 88%、標高 4,360 m で 83%、標高 5,545 m で 75%であった。山本<sup>6)</sup>によると、標高 3,440 m のナムチェ・バザールの  $\text{SpO}_2$  は 86%、標高 4,360 m デインボチェの  $\text{SpO}_2$  は 78%で本調査とほぼ同様な値である。なお標高 5,300 m のエベレスト BC の  $\text{SpO}_2$  は 77%、標高 8,848 m のエベレスト頂上では  $\text{SpO}_2$  は 35%で平地の約 1/3 である。このように、標高が上がるにつれ  $\text{SpO}_2$  は低下する。高所における  $\text{SpO}_2$  の低下度と体力や年齢との間には、相関関係はないという<sup>9)</sup>。一方年齢では、50 歳以上の人の  $\text{SaO}_2$  は、50 歳以下の人に比べ高度で有意に低いという報告もある<sup>7)</sup>。

筆者は、1999 年の夏に富士山登山のリーダーとして参加し、その時富士山登山に 17 人が挑戦をした。登山中の生体の反応をみると、8 合目の山小屋で仮眠中に重い頭痛 3 人及び軽い頭痛 4 人、頂上で重い頭痛の人は 3 人、5 合目に下山時の頭痛者は 10 人であった<sup>10)</sup>。このように標高 3,776 m の富士山に登山しても生体に反応を生じたことは、急登によって恒常性が保たれない状態を意味する。塩田<sup>11)</sup>は、ヒマラヤの高所に登山するため、富士山頂上に毎週土曜日夜方に御殿場登山口から登り、頂上でシュラフカバーをかぶって横になって 1 泊して、翌日下山するというパターンを 8 週間連続実践したという。標高 5,000 m では何日くらい経過すると高所順化するのでしょうか。被験者Aは、標高 2,750 m のチュモアから 8 日後のカラ・パタール（標高 5,545 m）での  $\text{SpO}_2$

は74%, 13日後のゴーキョ・ピーク(標高5,483 m)での $\text{SpO}_2$ は同じ値の74%であったことから, 8日後には高所順応していることが示唆された。ところが被験者Bは, 8日後のカラ・パタールでの $\text{SpO}_2$ は63%の低位, 13日後のゴーキョ・ピークでの $\text{SpO}_2$ は73%であったことから, 13日後には高所順応していることが示唆された。黒島<sup>12)</sup>は, 赤血球数が標高5,000 mで平地の450–500万/ $\text{mm}^3$ から500–700万/ $\text{mm}^3$ に増加し, それに伴いヘモグロビン濃度も増加する。ヘモグロビン濃度は7–14日で最大に達し, 0 mの14–16 g/血液100 mlから18 g/血液100 mlになるという。つまり高所順応に1–2週間を要するという, 上記の研究結果と本研究結果は一致している。

大きく深呼吸をすると当然肺に $\text{O}_2$ が供給され $\text{SpO}_2$ が上昇する。標高3,440 mでの安静時 $\text{SpO}_2$ と大きい深呼吸 $\text{SpO}_2$ との差は, 10%–15%も上昇している。しかし標高5,150 mでの安静時 $\text{SpO}_2$ と深呼吸 $\text{SpO}_2$ との差は, 6%–7%にすぎない。高所における呼吸法と $\text{SpO}_2$ を山本<sup>6)</sup>は,  $\text{SpO}_2$ をマナスルのBC(標高4,900 m)の測定結果を図で示している。その図からは概ね次のようである。歌を歌う約6%, 会話をする約6%, 腹式呼吸体操(第1)約7%, 複式呼吸約8%, 深呼吸約9%, 酸素吸入(0.5 l/分)約11%, 真向法(第1)約13%, 酸素吸入(1.0 l/分)約13%, 酸素吸入(2.0 l/分)約15%であるという。これをみると呼吸法で10%を越えているのは真向法(第1)の13%のみである。また, 人工的な酸素吸入は11–15%である。マナスル登山のBC(標高4,900 m), C1(標高5,800 m), C2(標高7,050 m)において, 呼吸法, 姿勢, 睡眠, 酸素吸入が $\text{SpO}_2$ にどのような影響を与えるかを調査した結果, 同じ高度においても「そこで何をしているか」によって,  $\text{SpO}_2$ の値が大きく変わっているという。 $\text{SpO}_2$ 値は, 酸素吸入(0.5 l/分) > 腹式呼吸(座位) > 腹式呼吸(臥位) > 通常呼吸(座位) > 通常呼吸(臥位) > 睡眠(臥位)の順になっている。つまり, 呼吸であれば腹式 > 通常, 酸素吸入 > 睡眠であるという。

標高差における安静時 $\text{SpO}_2$ と深呼吸時 $\text{SpO}_2$ との差を図6でみたように,

標高 3,440 m における  $\text{SpO}_2$  の差は、日本人 > 高所在住ネパール人、標高 4,360 m における  $\text{SpO}_2$  の差は日本人  $\approx$  高所在住のネパール人、ところが標高 5,150 m になると  $\text{SpO}_2$  の差は低所在住の日本人 < 高所在住のネパール人の図式になっている。標高 4,300 m 相当の高所で高山病にかかりやすい人と、そうでない人を対象にした調査では、肺換気量が多い人及び  $\text{SpO}_2$  の高い人は高山病にかかりにくいとしている<sup>9)</sup>。高所に在住するシェルパ族で荷物運搬、牧畜、農業に従事して活動の多いものは、商人、職人のように活動量の少ないものに比較して、高地での最大酸素摂取量が各年齢で高い<sup>12)</sup>。標高 4,350 m での  $\text{SpO}_2$  は、キルギス人は 91.6%、日本人は 82.3% でキルギス人が有意に高かったという報告がある<sup>5)</sup>。なぜか、標高差における安静時  $\text{SpO}_2$  と深呼吸時  $\text{SpO}_2$  との差は、標高 3,440 m では高所在住のネパール人より日本人の方が差が多い。標高 4,360 m では日本人と高所在住のネパール人との差はない。標高 5,150 m になると高所在住のネパール人が日本人より差が多く生じるのか。本調査では標本数の不足などから考察できなかった。

## 5 ま と め

中高年者の海外トレッキングが多くなってきた。日本人の中高年者 3 名 (50 歳代 1 名, 60 歳代 2 名) のトレッキングに現地ネパールからはガイド (2 名), ポータ (1 名) の 3 名の 6 名編成であった。標高 2,800 m から標高 5,500 m までの高所における生体応答の  $\text{SpO}_2$  について検討した。その結果,

- 1) 標高が上がるにしたがい  $\text{SpO}_2$  は低下していった。例えば被験者 B をみると標高 1,440 m (95%), 標高 3,440 m (82%), 標高 4,360 m (78%), 標高 5,545 m (63%) になった。
- 2) 標高 3,440 m での安静時  $\text{SpO}_2$  と大きい深呼吸  $\text{SpO}_2$  との差は、10% ~ 15% も上昇した。しかし標高 5,150 m での安静時  $\text{SpO}_2$  と深呼吸  $\text{SpO}_2$  との差は、6% ~ 7% にすぎなかった。
- 3) 標高差における安静時  $\text{SpO}_2$  と深呼吸時  $\text{SpO}_2$  との差を日本人と高所在

住のネパール人の比較をみると、3,440 m ではネパール人より日本人の方が差が多く、標高4,360 m は日本人とネパール人との差はない。標高5,150 m になると日本人よりネパール人の方に差が多く生じた。

#### 引用・参考文献

- 1) 平松 携 (1997) 低酸素環境下における中年鍛練者の循環応答の関係, 尾道短期大学研究紀要第46巻(1), 81-93.
- 2) 平松 携 (1996) 中年鍛練者のエベレスト・トレッキングにおける心拍反応について, 尾道短期大学研究紀要第45巻(2), 283-295.
- 3) 平松 携 (1998) 中年の高所トレッキングにおける生理反応について, 尾道短期大学研究紀要第47巻(1), 131-144.
- 4) 平松 携 (1999) 歩行と登山の科学 道と書院, pp. 132-133.
- 5) 出水 明・瀬戸嗣郎・松沢哲朗 (1990) 低酸素環境における人体の順応機構—生理学的研究—京都大学ヒマラヤ研究会, ヒマラヤ学誌 NO. 1, 11-30.
- 6) 山本正嘉 (2000) 登山の運動生理学百科 東京新聞出版局, pp. 199-292.
- 7) 岡崎和伸・遠藤洋志・遠藤由美子・浅野勝己 (2001) 高所トレッキング時の急性高山病と動脈酸素飽和度—高校生, 青年, および中高年の比較—登山医学 Vol 21, 83-88.
- 8) 内海正義 (2000) 山と溪谷 NO. 777, pp. 253-255.
- 9) 太田祥子 (1997) ネパールセミナー 97 報告書, 広島県山岳連盟, pp. 40-41.
- 10) 平松 携 (2000) 現代知のネットワーク—富士山を登る—溪水社, pp. 149-161.
- 11) 塩田純一 (1999) 中高年の登山者のための生理学, 本の和社, pp. 197.
- 12) 黒島晨汎 (1993) 環境生理学 (第2版) 理工学社, pp. 95-113.

本稿を終えるに当たり、高所トレッキングの機会をいただき、同行させていただいた吉田繁先生 (広島大学名誉教授)、および高橋邦臣氏に深く感謝いたします。またデータ整理等のご指導を賜りました山崎昌廣先生 (広島大学総合科学部) に厚くお礼を申し上げます。

2002.5.31